

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF

TEPELNÉ ČERPADLO PRO RODINNÝ DŮM

DOMESTIC HEAT PUMPS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LIBOR MERTA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. JIŘÍ POSPÍŠIL, PH.D.

BRNO 2009

Zadání bakalářské práce Netisknout

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá tepelnými čerpadly pro rodinný dům. Je rozdělena na dvě základní části. V první části je popsán princip fungování tepelného čerpadla, jeho součásti a různé typy. Jsou zde také zmíněny jednotlivé druhy nízkopotenciálních zdrojů energie včetně charakteristických vlastností a vzájemného srovnání. V druhé části je řešen návrh tepelného čerpadla pro určitý rodinný dům. Součástí projektu je návrh konkrétního tepelného čerpadla, vrtu a výpočet množství tepla potřebného pro vytápění a přípravu teplé vody. V závěru je uvedena celková ekonomická bilance včetně návratnosti investice.

Abstract

The Bachelor's Thesis deals with domestic heat pumps. It is divided into two basic parts. In the first part, an operating principle, components and various types are described. Particular kinds of low-energy sources including characteristic features and comparison are mentioned there as well. In the second part, a project for a domestic heat pump is prepared. The project includes proposition of a particular heat pump, a borehole and an amount of heat needed for heating and a preparation of warm water. At the end, a complete economical balance including an economic return of the investment is mentioned.

Klíčová slova

Tepelné čerpadlo, topný faktor, nízkopotenciální teplo, vrt

Keywords

Heat Pump, Coefficient of Performance, low-temperature heat, borehole

Bibliografická citace mé práce

MERTA, L. *Tepelné čerpadlo pro rodinný dům*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 39 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce. Vycházel jsem při tom ze svých znalostí, odborných konzultací a literárních zdrojů.

V Brně, dne Podpis.....

Merta

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za odbornou pomoc, rady a vedení při vytváření této práce.

Obsah

1 Úvod	9
2 Činnost tepelných čerpadel	10
2.1 Typy tepelných čerpadel dle zajištění oběhu chladiva	10
2.1.1 Kompresorová tepelná čerpadla	10
2.1.2 Absorpční tepelná čerpadla	13
2.2 Základní výpočtové charakteristiky tepelného čerpadla:	14
2.2.1 Topný faktor (TP)	14
2.2.2 Skutečný topný faktor	16
2.2.3 Chladicí faktor	16
2.2.4 Tepelná bilance kondenzátoru	16
2.2.5 Tepelná bilance výparníku	16
2.2.6 Měrná izoentropická kompresní práce kompresoru	16
2.2.7 Izoentropický příkon kompresoru	17
3 Zdroje nízkopotenciálního tepla	18
3.1 Vzduch	18
3.2 Voda	20
3.2.1 Podzemní voda	20
3.2.2 Povrchová voda	20
3.3 Země	20
3.3.1 Půdní výměníky tepla	21
3.3.2 Umístění	21
3.3.3 Vlastnosti vrtu a zeminy	22
3.3.4 Materiál a vlastnosti potrubí	23
3.3.5 Oběhové čerpadlo	23
3.4 Porovnání TČ země/voda s jinými zdroji nízkopotenciálního tepla dle různých hledisek	23
3.4.1 Finance	23
3.4.2 Životnost	23
3.4.3 Možnosti instalace	24
3.4.4 Nutná příprava před instalací	24
3.4.5 Narušení okolí	24
4 Návrh tepelného čerpadla země/voda pro rodinný dům	25
4.1 Popis objektu	25
4.2 Výpočet tepelné ztráty objektu	26
4.3 Výběr vhodného tepelného čerpadla	26
4.4 Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody	27
4.5 Ekonomická bilance	28
4.5.1 Roční náklady na energii při použití TČ	28
4.5.2 Roční náklady na energii při použití běžného plynového kotle	30
4.5.3 Investiční náklady při pořízení tepelného čerpadla	30
4.5.4 Zisk státní dotace v programu <i>Zelená úsporám</i>	31
4.5.5 Návrh návratnosti investice do tepelného čerpadla AquaMaster 22Z	31
5 Závěr	34

6	Seznam použitých zdrojů	36
7	Seznam použitých značek a veličin	37

1 Úvod

Tepelná čerpadla (TČ) reprezentují alternativní zdroj energie, která využívají většinu energie na vytápění z vody, ze vzduchu nebo z půdy. V současnosti patří tepelná čerpadla mezi žádané způsoby vytápění. Je to způsobeno rostoucí cenou energií a zvyšující se efektivitou těchto zařízení. Není ale pravidlem, že TČ jsou nejvýhodnější volbou vytápění pro všechny objekty. Vždy je nutné předem propočítat nejenom veškeré úspory, ale také zvýšené náklady oproti běžným otopným systémům. Důraz je také kladen na správný výběr nízkoteplotního zdroje energie a na specifické podmínky pro instalaci.

Cílem této práce je popsat základní principy fungování TČ a navrhnout konkrétní TČ pro zvolený rodinný dům. V první části je pojednáno o základních fyzikálních pochodech, popisu jednotlivých částí systému a rozdělení zdrojů nízkopotenciálního tepla s jejich možným uplatněním, výhodami a nevýhodami. Ve druhé části je na základě spočítané tepelné ztráty objektu navrženo vhodné TČ. Součástí výpočtu je také ekonomická bilance a návratnost investice oproti tradičním zdrojům tepla.

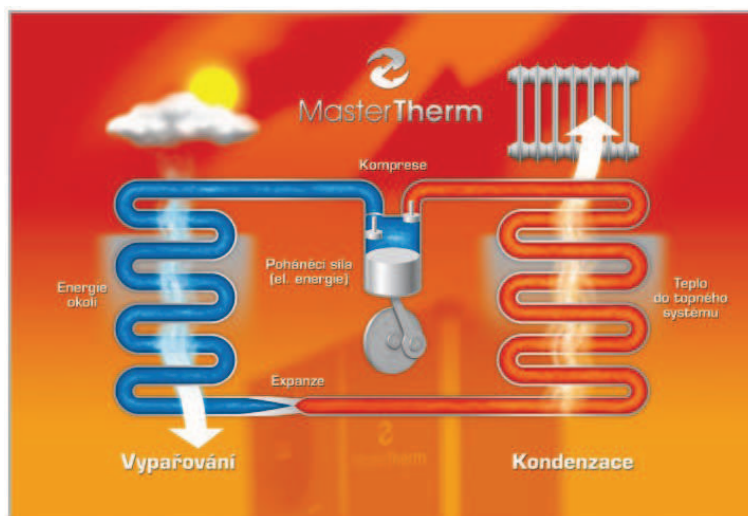
2 Činnost tepelných čerpadel

Tepelná čerpadla pracují na základě odebírání nízkopotenciální (NPT) energie z půdy, z vody nebo ze vzduchu. Získané NPT teplo se pomocí aktivační energie (většinou elektrické) přetransformujeme na teplo o vyšším potenciálu, které se již využívá na vytápění nebo ohřev teplé vody (TV).

2.1 Typy tepelných čerpadel dle zajištění oběhu chladiva

2.1.1 Kompresorová tepelná čerpadla

Princip tepelných čerpadel je postaven na různé teplotě varu a kondenzace odlišných kapalin v závislosti na okamžitém tlaku. Proto se používají chladiva (nemrznoucí směsi), které mají při atmosférickém tlaku velmi nízkou teplotu vypařování (například čpavek: $t_v = -33\text{ °C}$ za normálních podmínek, při stlačení na 2 MPa kondenzuje až při teplotě $t_k = 50\text{ °C}$ [11]). Chladivo cirkuluje potrubím umístěném ve zdroji NPT energie a odebírá z něj NPT teplo, což způsobí vypařování chladiva (mění skupenství na plynné). Ve druhé fázi projde přesycená pára kompresorem, který jí dodává energii v podobě práce a_{ie} . Následkem toho je isoentropicky stlačována na kondenzační tlak p_k . Zvýšení tlaku má za následek výrazné zvýšení teploty chladiva na kondenzační teplotu t_k , která musí být vyšší, než je teplota vypařování ve výparníku i teplota otopné vody. V následujícím výměníku páry chladiva zkondenzují, čímž se uvolní energie, kterou pohltí otopná voda. V posledním kroku směs prochází expanzním ventilem, který zredukuje kondenzační tlak p_k na tlak výparný p_o .



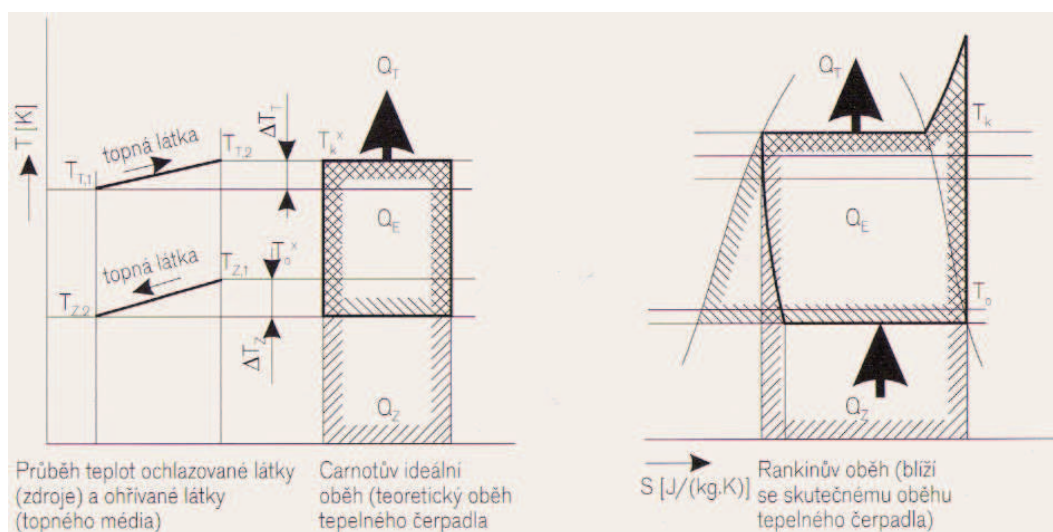
Obrázek 1: Funkce tepelného čerpadla [6]

Součásti kompresorových tepelných čerpadel

1. Chladicí směs

Nemrznoucí směs musí mít bod mrazu přibližně -30 °C , aby nedošlo k jejímu zamrznutí. Základními požadavky chladiva je výborná tepelná vodivost a co nejvíce neměnné vlastnosti při změně teploty. Například vzrůstající viskozita se projeví na zvýšeném příkonu oběhového čerpadla. Chladivo musí splňovat přísné ekologické požadavky, aby při havárii došlo k minimální škodě.

V posledních letech se často používá chladivo R407c. Jedná se o ternární směs hydrofluoruhličitánů, která je velmi šetrná k životnímu prostředí. Testy prokázaly, že toxicita této látky je velmi nízká. Výhodou je nehořlavost během skladování, převážení i použití. Dalším rozšířeným chladivem je glykol (např. směs 65 % vody a 35 % alkoholu).



Obrázek 2: Ideální Carnotův a Rankinův cyklus [11]: Q_T - teplo dodané do vytápěcího systému, Q_E —energie přivedená palivem, Q_Z - teplo odebrané okolnímu prostředí

2. Výparník

Ve výparníku probíhá první část cyklu, dochází k předání energie od NPT zdroje o relativně nízké teplotě $t_{s,1}$ chladivu, jejíž teplota varu je nižší než $t_{s,1}$. Chladicí směs se vypařuje za normálního tlaku p_0 a za konstantní teploty t_0 . Dochází k odebírání tepla z NPT zdroje, čímž je ochlazen na konečnou teplotu $t_{s,2}$. Výparník je většinou tvořen soustavou potrubí uloženou uvnitř NPT zdroje.



Obrázek 3: Průběh teplot ve výparníku [4]: $t_{s,1}$ - původní teplota nízkoenergetického zdroje, $t_{s,2}$ - konečná teplota nízkoenergetického zdroje - t_0 – výparná teplota chladiva

3. Kompresor

Rozeznáváme čtyři druhy kompresorů:

- Pístové kompresory - jsou levnější, ale s horší účinností. Za dobu používání TČ se musí kompresor vyměnit. Tento typ je využíván u většiny starších zařízení a u nových TČ o velmi malém výkonu. Trvanlivost je přibližně 15 let.
- Spirálové kompresory (SCROLL) - jsou dražší, ale dosahují dobrých topných faktorů. V současnosti se jedná o nejpoužívanější typ. Jejich životnost je asi 25 let.
- Rotační kompresor - nedosahují vysokých topných faktorů, jsou využívány hlavně v klimatizačních systémech s malým výkonem.
- Šroubové kompresory - dosahují velkého výkonu, využití především v průmyslu. Patří mezi nejdražší, protože jsou největší.

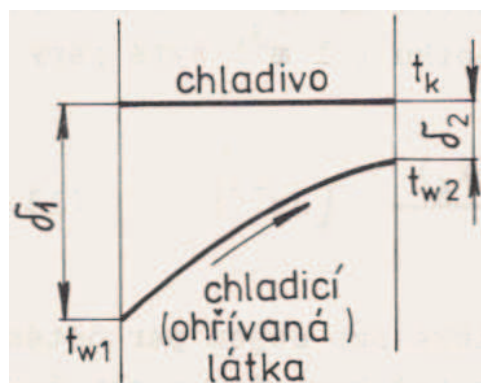
Princip stlačení syté páry v kondenzátoru SCROLL Vycházíme z obr. 4, kde „šedá barva je pevná spirála, černá barva je pohyblivá spirála. Prostor mezi spirálami je vyplněn plynem (chladičem). Pohyblivá spirála se excentricky pohybuje v pevné spirále. Tím je vytvořena „kapsa“, která se pohybuje od obvodu (kde je plyn nasán - část a) směrem ke středu a neustále se zmenšuje. Ve středu spirály je výfukový otvor, kterým stlačený plyn vystupuje - část d. Ve skutečnosti je v každém okamžiku mezi spirálami šest „kapes“, takže proces sání a výfuku chladiva je téměř plynulý.” [11]



Obrázek 4: Princip funkce kompresoru SCROLL [11]

4. Kondenzátor

Jedná se o výměník tepla mezi chladivem a potrubím s otopnou vodou. Kondenzační teplota chladiva t_k je konstantní, protože přenesené teplo mezi chladivem a otopnou vodou způsobí převážně kondenzaci syté páry (změna skupenství z páry na kapalinu)



Obrázek 5: Průběh teplot v kondenzátoru [4]: t_k - kondenzační teplota chladiva, $t_{w,1}$ - počáteční teplota ohřívané látky, $t_{w,2}$ - konečná teplota ohřívané látky

5. Expanzní ventil

Při průchodu chladiva expanzním ventilem dojde ke snížení tlaku z kondenzačního tlaku p_k na výparný tlak p_0 . Má to za následek rapidní snížení teploty a energie chladiva, díky čemuž může znovu získat energii od NPT zdroje energie.

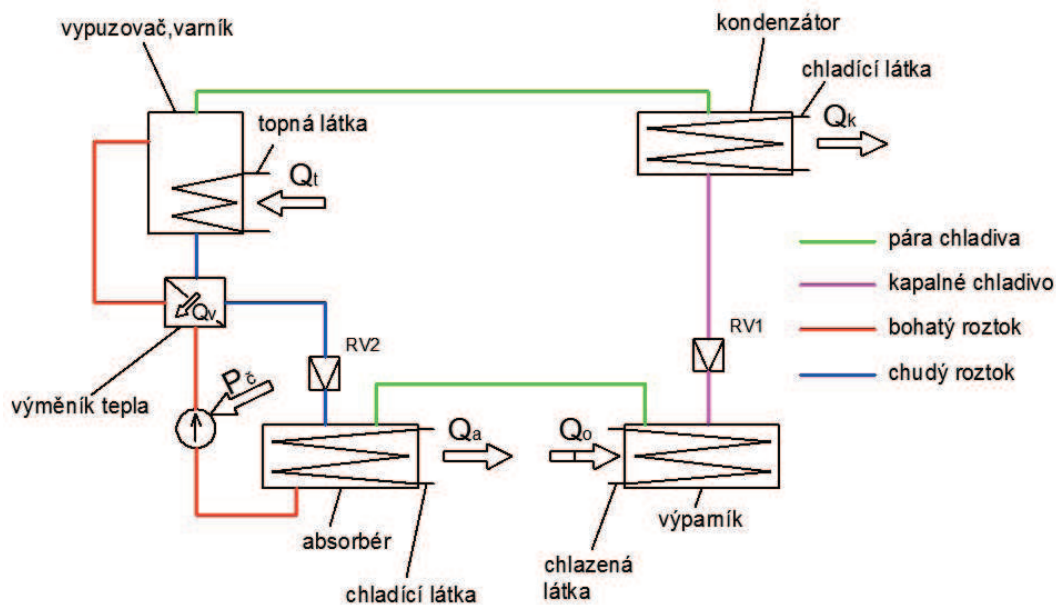
2.1.2 Absorpční tepelná čerpadla

Absorpční tepelná čerpadla fungují na principu TČ se zdrojem NPT tepla ze vzduchu, nejsou ovšem poháněna elektřinou, ale jiným zdrojem energie - např. zemním plynem, propanem, solárně (geotermálně) ohřívanou vodou. Používají se především v místech, kde je nedostatek elektrické energie. Protože zemní plyn je nejběžnější tepelný zdroj pro absorpční tepelná čerpadla, nazývají se také plynová TČ.

Absorpční tepelná čerpadla využívají k vytápění a chlazení cyklus „amonné vody“ jako chladiva. Podobně jako u běžného kompresorového TČ, ve výparníku dochází ke vzniku par chladiva, které jsou odvedeny do absorberu, kde jsou pohlceny absorbentem (nejčastěji voda). Samotný absorbent se zbytkovým množstvím vypařeného chladiva se označuje jako chudý roztok, absorbent obohacený o větší množství chladiva jako bohatý roztok. Je zapotřebí udržet v absorberu takovou teplotu, aby směs měla neustále tendenci ke zkapalnění a tudíž mohla snadno přijímat další vypařené chladivo. Vznikající směšovací teplo se odvádí chladicí látkou. Pomocí čerpadla je vhnáněn bohatý roztok do vypuzovače. Dochází zde ke zvyšování teploty a tlaku (až na kondenzační tlak p_k). Při varu se rozdělí bohatý roztok na páru (složenou především z par chladiva, čímž zajistíme separaci amoniaku z vody) a na chudý roztok (především voda). Chudý roztok se odvede do výměníku tepla, kde odevzdá část své tepelné energie bohatému roztoku směřujícímu z absorberu do vypuzovače, a sám pokračuje do absorberu. Pára je z vypuzovače dovedena do kondenzátoru, kde předá svoji energii otopné vodě, přičemž zkapalní. Cyklus se uzavře škrtícím ventilem RV1, ve kterém dojde ke snížení tlaku chladiva.

Při volbě chladiva a absorbentu je snaha splnit následující požadavky, aby se zajistil správný chod systému:

- Pomocí velmi odlišných teplot varu se zajistí, že se ve vypuzovači vypaří převážně chladivo a voda zůstane ve stavu kapalném.
- Chladivo a absorbent musí být neazeotropické a neomezeně mísitelné s malým směšovacím teplem v celém rozsahu pracovních teplot a tlaků [4].



Obrázek 6: Schéma absorpčního tepelného čerpadla [4].

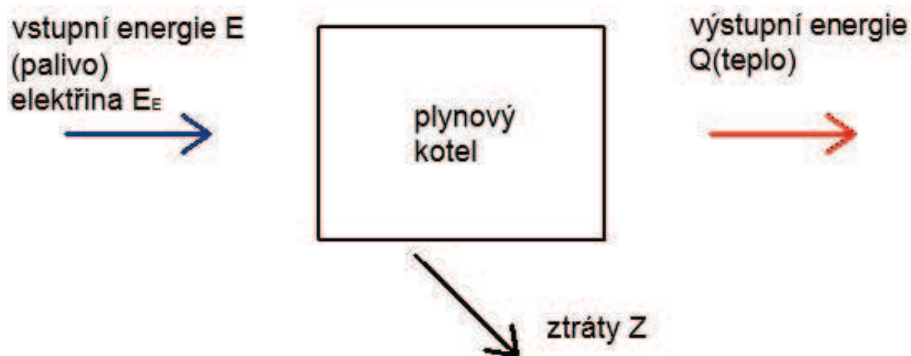
Topný faktor se pohybuje většinou v rozmezí 1,2 až 1,6. Je to způsobeno tím, že při získávání tepla z primární energie (plyn) dochází k velkým ztrátám. Vše ilustruje následující příklad: Absorpční TČ s topným faktorem 1,5 je přibližně ekvivalentní kompresorovému TČ s topným faktorem 4,5 při využití primární energie. Při rozhodování o plynovém TČ se také musí vzít v úvahu nižší cena za energii, která je u plynu přibližně 54 % ceny elektrické energie (1 MW·h plynu při odběru 20 ± 25 MW·h ročně stojí 1282 Kč, 1 MW·h elektrické energie stojí 2362 Kč [12]).

2.2 Základní výpočtové charakteristiky tepelného čerpadla:

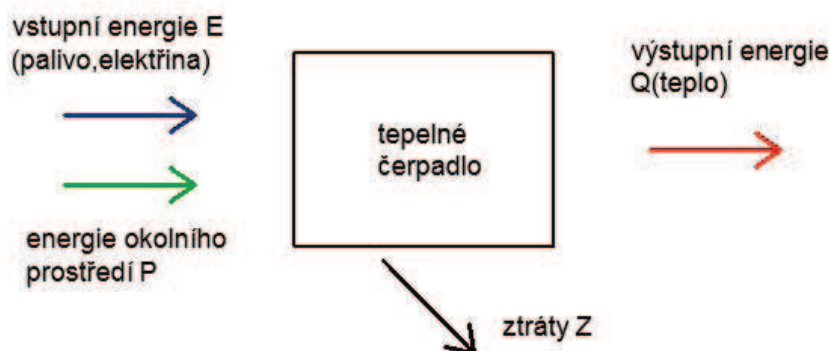
2.2.1 Topný faktor (TP)

V anglicky psané literatuře označován jako *COP* (Coefficient of performance).

Jedná se o základní charakteristiku tepelného čerpadla, která nám vyjadřuje jeho účinnost při daných podmínkách. Dává do poměru výstupní energii ve formě otopné vody a placenou energii, kterou do systému dodáme pomocí elektřiny (plynu). U běžných spalovacích kotlů a bojlerů vždy dochází ke ztrátám, díky čemuž limitní hodnota účinnosti je maximálně jedna. Při užití tepelného čerpadla se dosahuje mnohem vyššího topného faktoru, protože do systému nevstupuje pouze energie z elektřiny (plynu) pro pohon kompresoru, ale především energie z NPT zdrojů energie.



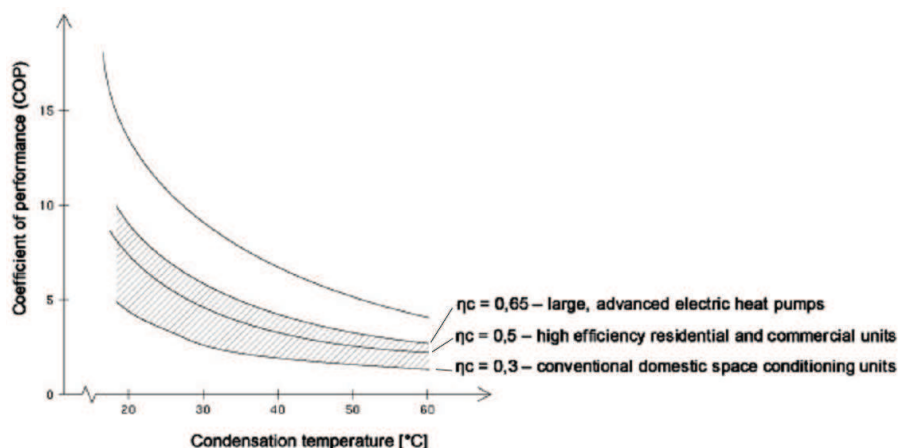
Obrázek 7: Vstupní a výstupní energie plynového kotle.



Obrázek 8: Vstupní a výstupní energie tepelného čerpadla.

Topný faktor tepelného čerpadla: $\varepsilon_t = \frac{Q}{E} [-]$ rov. 2.1

Topný faktor závisí na okolních podmínkách. U ideálního TČ závisí především na kondenzační teplotě chladiva a na teplotním spádem. Teplotním spádem se rozumí velikost rozdílu teploty NPT zdroje tepla a výstupní teplotě otopné vody. Na obr. 9 je uvedena závislost topného faktoru na kondenzační teplotě při teplotě zdroje 0 °C. Každá křivka reprezentuje rozdílný typ a velikost TČ.



Obrázek 9: Funkce závislosti topného faktoru na kondenzační teplotě při teplotě zdroje 0 °C [5]

Topný faktor roste s klesající kondenzační teplotou a snižujícím se teplotním spádem. Proto se navrhuje vytápěcí systém objektu tak, aby se mohla použít otopná voda o co

nejnižší teplotě. Někdy to není možné, protože starý topný systém byl nastaven na mnohem vyšší teplotu. V těchto případech se uvažuje o výměně celého systému, popř. o zvýšení otopné plochy radiátorů. Při zateplení objektu nebo zvýšení plochy radiátorů lze snížit teplotu vody, aniž by klesl požadovaný výkon topení. Avšak topný faktor by se zvýšil, čímž by se snížily náklady na vytápění.

Při výběru jednotlivých čerpadel se nelze řídit pouze samotnou hodnotou topného faktoru. Vždy záleží na okolních podmínkách. Proto se uvádějí u každého TČ hodnoty pro různé teploty chladiva a otopné vody. Vždy jsou veškeré veličiny uvedeny dle ČSN EN 12 831.

2.2.2 Skutečný topný faktor

Tepelné čerpadlo není jediným spotřebičem elektrické energie v celém topném systému. Například u TČ vzduch/voda se pohání ventilátor a oběhové čerpadlo pohánějící vodu mezi ventilátorem a tepelným čerpadlem. U systému voda/voda se pomocí čerpadel dodává energie vodě, aby kolovala mezi NPT zdrojem energie a tepelným čerpadlem. Výše zmíněná energie samozřejmě musí být přičtena k energii pohánějící kompresor, což sníží topný faktor a zvýší provozní náklady.

Při porovnávání topných faktorů se neuvažuje energie spojená s rozvodem otopné vody v objektu, protože ta je stejná pro jakýkoliv zdroj otopné vody.

Při bližším prozkoumání topného faktoru se zjistí, že jeho reálná hodnota se pohybuje v rozmezí $0,6 \pm 1,2$ [11]. Je to způsobeno velmi nízkou efektivitou výroby elektřiny a ztrátami při přenosu elektrické energie k uživateli. Celková účinnost výroby a distribuce elektřiny je pouhých 29 % [11].

2.2.3 Chladicí faktor

Definuje poměr získaného chladu ve výparníku k izoentropickému příkonu kompresoru.

$$\varepsilon_c = \frac{Q_o}{P_{ie}} [-] \quad \text{rov. 2.2}$$

2.2.4 Tepelná bilance kondenzátoru

Vyjadřuje množství energie předané otopné vodě v kondenzátoru

$$Q_0 = m \cdot (h_2 - h_4) [\text{J}] \quad \text{rov. 2.3}$$

h_2 - entalpie chladiva před kondenzací

h_4 - entalpie chladiva po kondenzaci

2.2.5 Tepelná bilance výparníku

Definuje množství energie předané chladivu ve výparníku

$$Q_0 = m \cdot (h_1 - h_4) [\text{J}] \quad \text{rov. 2.4}$$

h_1 - entalpie chladiva ve skupenství syté páry

h_4 - entalpie chladiva po kondenzaci

2.2.6 Měrná izoentropická kompresní práce kompresoru

Určuje práci, kterou vykoná kompresor při stlačení jednoho kilogramu par chladiva.

$$a_{ie} = h_2 - h_1 [\text{J}] \quad \text{rov. 2.5}$$

h_1 - entalpie chladiva ve skupenství syté páry

h_2 - entalpie chladiva před kondenzací

2.2.7 Izoentropický příkon kompresoru

Jedná se o minimální příkon kompresoru pro zajištění izoentropického stlačení par chladiva.

$$P_{ie} = m \cdot a_{ie} \text{ [W]} \quad \text{rov. 2.6}$$

3 Zdroje nízopotenciálního tepla

Zdroje NPT energie pro TČ patří mezi nejdůležitější faktory při jejich návrhu a následné realizaci. Zásadním způsobem ovlivňují celkový výkon TČ, náročnost instalace a ekonomickou investici do instalace. Vhodný zdroj energie má vysokou a stabilní teplotu po celý rok, je neomezeně dostupný, není nijak znečištěný ani chemicky agresivní a jeho využívání není finančně náročné. V tab. 2 jsou uvedené běžné zdroje NPT tepla a jejich využití.

Základní zdroje tepla:

- Venkovní vzduch.
- Odpadní vzduch z ventilace.
- Podzemní voda.
- Povrchová voda.
- Půda.

Tabulka 1: Zdroje NPT tepla a jejich využití[11].

Typ čerpadla (ochlazuje se/ohřívá se)	Možnosti použití
Vzduch / voda	Univerzální typ, pro ústřední vytápění
Vzduch / vzduch	Doplňkový zdroj tepla, teplovzdušné vytápění, klimatizace
Voda / voda	Využití odpadního tepla, geotermální energie, teplovodní vytápění
Nemrzoucí kapalina / voda (země / voda)	Univerzální typ pro teplovodní vytápění, zdrojem tepla je nejčastěji vrt nebo půdní kolektor
Voda / vzduch	Teplovzdušné vytápěcí systémy

3.1 Vzduch

Tepelná čerpadla využívající NPT teplo ze vzduchu jsou velmi oblíbená. Dosahují nestálých topných faktorů. Z pohledu pořizovacích nákladů se ušetří na instalaci, poněvadž nemusíme stavět složité a nákladné systémy pro získání NPT energie. Nevýhodou je dražší samotné TČ. Díky našemu mírnému klimatickému pásmu máme poměrně vysoké průměrné roční teploty, a tedy i poměrně vysoký topný faktor. Tepelná čerpadla bývají dimenzovaná tak, aby i při $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ byla schopna dodávat dostatek energie do otopné soustavy. Při $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ovšem jedou na plný výkon, což významně zvyšuje náklady na topení, protože ideální rozmezí je $50 \pm 80\%$ maximálního výkonu TČ. Obecně se doporučuje pořízení záložního zdroje, nastanou-li extrémní venkovní podmínky. Nejčastější je elektrokotel. Z finančního hlediska je to výhodnější, protože náklady na občasné spuštění přídatného zařízení jsou mnohem nižší, než dimenzování tepelného čerpadla na extrémní podmínky nastávající pouze ojediněle do roka. Navíc provoz TČ při extrémně nízkých podmínkách velmi snižuje jeho životnost.

Pro množství získané energie je kromě teploty vzduchu důležitá také jeho vlhkost. S její vzrůstající hodnotou se zvyšuje množství energie, které můžeme využít. Porovná-li

se vzduch a jiné zdroje (voda, půda), zjistí se, že množství energie neklesá přímo úměrně s poklesem teploty, ale rychleji. Díky tomu je účinnost a topný faktor tepelného čerpadle při velmi nízkých teplotách opravdu malý.

Z konstrukčního hlediska se rozdělují TČ na tři druhy:

- Vnitřní - celé TČ je umístěno uvnitř objektu. Pomocí potrubí je zajišťován přívod čerstvého a odvod odpadního vzduchu.
- Vnější - celé TČ je umístěno mimo objekt. Ventilátor přímo nasává čerstvý a vypouští odpadní vzduch. Otopná voda vede z kondenzátoru velmi dobře zaizolovaným potrubím do objektu, kde je dále rozvedena.
- Kombinované - ventilátor s výparníkem jsou umístěny v exteriéru. Kompresor, kondenzátor a expanzní ventil jsou uloženy v interiéru. Mezi vnější a vnitřní částí cirkuluje chladivo ve velmi dobře zaizolovaném potrubí.

Proudění vzduchu kolem výparníku zajišťuje pomaloběžný ventilátor. Nízkopotenciální energie ze vzduchu se předává uvnitř výparníku, kde koluje chladivo ve spirálovitě zatočeném potrubí. Běžný objemový průtok je v řádu tisíců krychlových metrů za hodinu, bereme-li v úvahu TČ pro rodinné domy. V kondenzátoru se předává teplo mezi chladivem a otopnou vodou na stejném principu jako u TČ země/vzduch.

Jednou z nevýhod je vznikání námrazy na výparníku, protože teplota vypouštěného vzduchu je pod bodem mrazu. Proto součástí tepelných čerpadel je i odmrazovací zařízení, které snižuje účinnost celého zařízení.

Při návrhu umístění se musí dbát na to, aby vývod chladného vzduchu nebyl v uzavřeném, špatně odvětraném prostoru, kde nedochází k dostatečnému proudění vzduchu. V opačném případě by to způsobilo ochlazování (popř. promrzání) objektu a snížení topného faktoru, protože přívod teplejšího vzduchu by byl omezen. Umístění na půdu se v praxi nepoužívá, protože by hrozilo prosakování vody do nižších místností při odtávání námrazy. Také se nedoporučuje instalace do sklepa, protože by docházelo k promrzání budovy. Jedinou možností je přivádět čerstvý a odvádět ochlazený vzduch potrubím.

Při nasávání a vypouštění vzduchu potrubím by měly být dané otvory co nejvíce vzdálené od sebe - nejlépeší variantou je nasávat teplý vzduch na jedné straně budovy a vypouštět jej na straně druhé nebo za rohem objektu.

Při vnějším/kombinovaném umístění ventilátoru se musí dbát na jeho hlučnost. Všechna tepelná čerpadla by měla splňovat základní hygienickou normu pro chod v noci, která je 40 dB dle nařízení vlády č. 148/2006 Sb. Vnímání hluku je ovšem individuální. Může se tedy stát, že s ním budou mít někteří sousedé problémy.

Dalším zdrojem teplého vzduchu je klimatizace. Tepelné čerpadlo může být zapojeno podobně jako rekuperační jednotka. Tento systém využívá tepelnou energii z odpadního vzduchu, která je předána čerstvému vzduchu. Jednou z alternativ je nasazení TČ až za rekuperační jednotku, díky čemuž dojde k maximálnímu omezení vypouštěného tepla z objektu. Výhodou je neustálá obměna čerstvého vzduchu při významném zredukování úniku teplého vzduchu.

Tepelná čerpadla vzduch/vzduch jsou také vhodná pro letní chlazení objektu. U některých TČ je možné zapnout reverzní chod a teplo odvádět. Je to jedna ze základních věcí, čímž se TČ liší od rekuperačních jednotek.

3.2 Voda

3.2.1 Podzemní voda

Podzemní voda je považována za nejlepší zdroj NPT tepla. Její teplota se celoročně pohybuje v rozmezí 8 ± 10 °C. V praxi se s tímto zdrojem dosahuje největšího topného faktoru, přibližně 6 ± 8 .

Tepelný kolektor se většinou skládá ze dvou studní – zdrojové a vsakovací. Zdrojová studna funguje jako zásobník podzemní vody, která je následně čerpána potrubím do tepelného čerpadla. Po odevzdání své tepelné energie je odváděna do vzdálené vsakovací studny. Dané podloží musí splňovat dva základní požadavky:

- Zajištění dostatečné vydatnosti podzemní vody.
- Dobré vsakovací vlastnosti, aby se ochlazená voda nehromadila ve vsakovací studni.

Před vytvořením vrtu se musí udělat rozbor chemického složení. Silně mineralizovaná voda by byla nevhodná, protože by docházelo k zanášení výměníku.

Před instalací tepelného čerpadla tohoto druhu se také musí žádat o vyjádření vodohospodářského úřadu. Navíc k provedení vrtu jsou dle zákona o vodách č. 254/2001 oprávněny pouze společnosti s oprávněním vydaným Českým vodohospodářským úřadem.

3.2.2 Povrchová voda

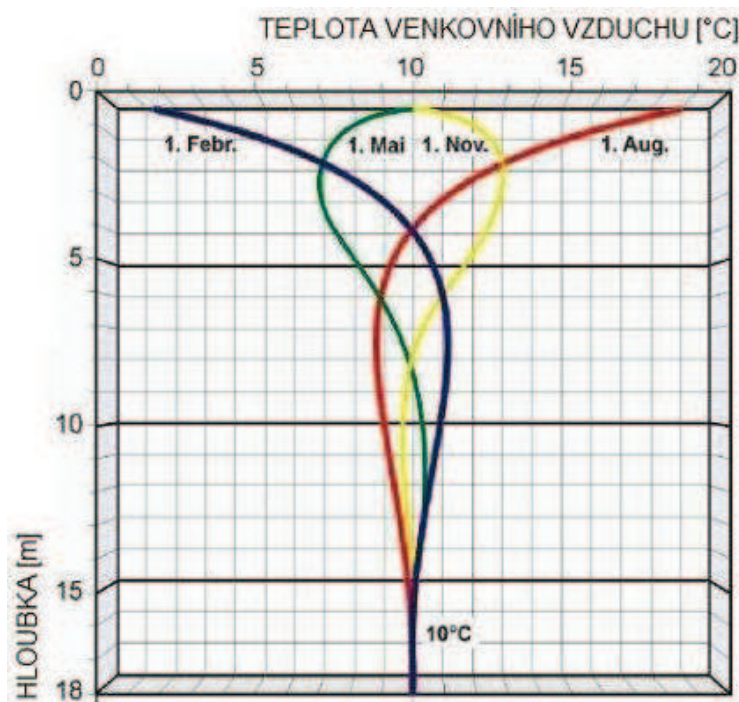
Tento NPT zdroj tepla je nejméně rozšířen. Největším nedostatkem je silné kolísání teploty povrchové vody. Zvláště v zimě, kdy je spotřeba tepla největší, má voda minimální teplotu. Doporučuje se tedy namontovat záložní zdroj. Kromě nežádoucích minerálů obsahuje povrchová voda také velké množství usazenin, které rovněž neprospívají výměníku a potrubí. Samotný odběr vody je poměrně problematický. Málokdy je daný objekt přímo na břehu řeky nebo rybníka. V ostatních případech se musí počítat s náklady na položení potrubí ke zdroji NPT tepla a se souhlasem majitele pozemku, přes který potrubí povede. Při umístění kolektoru přímo do vodoteče je nutné povolení správce toku. V případě přivádění povrchové vody až k teplenému čerpadlu (bez uzavřeného okruhu mezi kolektorem a tepelným čerpadlem) je povinnost za odběr vody platit.

3.3 Země

Naakumulovaná NPT energie pochází ze dvou zdrojů. Ve hlubinných vrtech se projevuje teplo z nukleárního rozpadu prvků v nitru země a energie od slunce.

„Průměrný tepelný tok (množství tepla, které projde jednotkovou plochou na zemském povrchu) na Zemi je 60 ± 10 mW/m². Lokality s nejvyšší hustotou zemského tepla v ČR mají až 90 mW/m² (např. Ostravsko, okolí obce Boží Dar v Krušných horách).“ [1]

Se vzrůstající hloubkou je teplota hornin méně ovlivňována aktuálním stavem počasí a podnebím. Kolísání teplot se zmenšuje a minimální a maximální hodnoty se opoždějí oproti minimům a maximům na povrchu. V hloubkách menších než 2 m bude teplota půdy vykazovat teplotní výkyvy oproti teplotě vzduchu – v létě nižší teplotu, v zimě vyšší teplotu. Je tedy snahou umístit potrubí s chladičem co nejhlouběji, aby se dosáhlo konstantního a co největšího topného faktoru. V hloubce nad 18 metrů je teplota téměř konstantní. Počítá se s přírůstkem 3 °C na 100 metrů [10].



Obrázek 10: Průběhy teplot v půdě v závislosti na ročním období [10].

3.3.1 Půdní výměníky tepla

Půdním výměníkem tepla se většinou rozumí polyethylenové potrubí umístěná v půdě. Potrubím cirkuluje chladivo, které odebírá NPT teplo z okolí a předává jej v kondenzátoru otopné vodě.

3.3.2 Umístění

Půdní výměník je uložen buď horizontálně jako plošný kolektor v mělkých brázdách nebo vertikálně jako hlubinný vrt. Výběr závisí na rozloze nezastavěného pozemku, místních půdních podmínkách a výkopových nákladech.

Plošný kolektor

Plošný půdní kolektor lze využít pouze v případě dostatečně velké nezastavěné plochy a většinou se využívají, pokud nelze vyvrtat hlubinný vrt. Při běžném uložení se počítá přibližně s trojnásobě velkou plochou než je vytápěná plocha. Tento systém je tedy nevhodný pro hustě osídlené oblasti. Pro nižší náklady spojené s výkopovými pracemi je výhodné minimum skalnatého podloží v dané hloubce. Polyethylenové potrubí se nejčastěji ukládá do hloubky $1,5 \pm 2$ m [11], kde nehrozí promrzání. Je nutné brát ohled na významné tepelné ovlivnění okolí potrubí, a proto je minimální vzdálenost mezi jednotlivými rameny 0,6 m [11]. Potrubí by také neměla být příliš blízko domu, aby nedocházelo k jeho promrzávání.

Jednou z alternativ je uložení do tzv. slinek, což je systém částečně se překrývajících smyček potrubí. Tyto smyčky jsou uloženy buď horizontálně v širších výkopech (přibližně 0,9 m), hloubky 1,5 m a délky výkopu 15 ± 20 m nebo vertikálně do užších výkopů ($0,3 \pm 0,4$ m). Základní podmínkou je, aby i horní část smyček byla v minimální hloubce

1,5 m. Tímto uspořádáním se tedy sníží celková délka brázdy. K poměrnému zmenšení plochy nedojde, protože minimální vzdálenost mezi slinkami je 5 metrů. Významnou nevýhodou slinek je velmi obtížné odvodu systému. Všechny hodnoty v odstavci z [11].

Hlubinné vrtý

Patří mezi nejúčinnější systémy se stabilním topným faktorem cca 3 ± 7 . Hlubinné vrtý se téměř vždy užívají pro rozsáhlejší instalace. Ideálním podložím je skála, jejíž celkové náklady na vyvrtání jsou nižší v porovnání se sypkou půdou. Vrtání půdy je časově i technicky náročnější, protože dochází k zasypávání vrtu. Hned za vrtákem se pokládá polyethylenové potrubí ve tvaru U. Obvyklý průměr vrtu je 130 ± 150 mm [11]. Délku vrtu by se měla určit podle termofyzikálních vlastností hornin a podle požadovaného výkonu tepelného čerpadla. V praxi se většinou postupuje dle pravidla, že na vytvoření 1 kW tepelné ztráty je zapotřebí 15 m hluboký vrt. Nepočítáme hloubku 18 m od povrchu, protože zde se projevují výkyvy venkovního prostředí. Optimální hloubka vrtu je 80 ± 120 m [11], přičemž jeden hluboký vrt je preferován oproti dvěma menším. Při potřebě více vrtů musí být jejich vzájemná vzdálenost minimálně 10 m.

Po uložení hadic je nutné vrt utěsnit buď cementovou nebo jílocementovou směsí. Je nepřípustné použít vytěženou zeminu, hlínu nebo písek. Důvodem je riziko narušení zásobárny podzemní vody, do níž by se neutěsněným vrtem mohla dostat znečištěná povrchová voda, případně že vrt spojí oblasti v různých hloubkách a naruší tak hydrogeologické poměry.

3.3.3 Vlastnosti vrtu a zeminy

Při návrhu půdních výměníků je důležité dobré plošné rozvržení a celé nadimenzování systému. Daný rozbor může velmi usnadnit geotermální průzkum, který odhalí strukturu hornin popř. podzemních vod v oblasti, ve které se vrt plánuje. Z finančních důvodů se tento průzkum většinou nedělá, nebo pouze do určité hloubky. Platí, že nejvyšší tepelnou vodivost má skála a nejnižší půda. Dalším důležitým faktorem je vlhkost. Suchá zemina je mnohem méně tepelně vodivá než vlhká. Rozdíly jsou tak významné, že potřebná hloubka vrtu pro tepelné čerpadlo s určitým výkonem se může lišit až o 50 %. Především u plošných kolektorů se zvažuje, jestli se TČ využívá celoročně (v létě např. na ohřev bazénu) nebo převážně v topné sezóně. Při celoročním provozu nedochází v létě k potřebné tepelné regeneraci okolí výměníku. V těchto případech je nutné zvolit rozložení vrtů (brázdy) tak, aby časem nedošlo k zamrznutí jejich okolí. Lze se setkat i s dodáváním energie do vrtů a kolektorů v letních měsících. Je to ovšem finančně nákladné, nepochází-li odpadní teplo z reverzního chodu TČ, tedy z chlazení.

Tabulka 2: Závislost tepelné vodivosti, měrného výkonu a hloubky vrtu na druhu hornin [11].

Hornina	Tepelná vodivost	Měrný výkon	Hloubka vrtu pro tepelné čerpadlo s topným faktorem:	
	[W/(m.K)]	[W/m]	3,0 [m/kW]	3,5 [m/kW]
Suché nepevněné horniny	<1,5	20	33	36
Pevné horniny nebo vodou nasycené	1,5 do 3,0	50	13	14
Pevné horniny s vysokou tepelnou vodivostí	>3,0	70	9,5	10
Štěrky, písky, suché	0,4	<20	>33	>33
Štěrky, písky, zvodnělé	1,8 – 2,4	55 – 65	10 – 12	11 – 13
Hlíny a jíly, vlhké	1,7	30 – 40	17 – 22	18 – 24
Vápenec, masivní	2,8	45 – 60	11 – 15	12 – 16
Pískovec	2,3	55 – 65	10 – 12	11 – 13
Žuly	3,4	55 – 70	9,5 – 12	10 – 13
Čediče	1,7	35 – 55	12 – 19	13 – 20
Ruly	2,9	60 – 70	9,5 – 11	10 – 16

3.3.4 Materiál a vlastnosti potrubí

Použitý materiál je důležitým faktorem životnosti výměníku. Průměr potrubí se volí s ohledem na výkon oběžného čerpadla (se zmenšujícím se průřezem potrubí se zvyšuje potřebný příkon) a na zajištění turbulentního proudění kapaliny (průměr musí být dostatečně malý). Při tomto proudění dochází k největšímu tepelnému přenosu mezi kapalinou a stěnou potrubí. Využívá se potrubí o průměru 32 nebo 40 mm.

3.3.5 Oběhové čerpadlo

Základním požadavkem je co nejvyšší účinnost. Obecně platí, že příkon by neměl být větší než 5 % [3] výkonu tepelného čerpadla.

3.4 Porovnání TČ země/voda s jinými zdroji nízkopotenciálního tepla dle různých hledisek

3.4.1 Finance

Tepelná čerpadla využívající NPT energii ze země jsou investičně považována za nejnáročnější, protože cena vrtu i položení půdních kolektorů je vysoká. Z hlediska provozu jsou půdní TČ nejvýhodnější, protože dosahují velmi vysokých a stálých topných faktorů. Podobných topných faktorů dosahuje pouze podzemní voda, která je využívána velmi zřídka. Investičně nejvýhodnější jsou TČ vzduch/voda a vzduch/vzduch. Náklady na lepší kompresor, ventilátor a odhlučňovací krabici nejsou zdaleka tak vysoké jako náklady na půdní výměníky.

3.4.2 Životnost

Tepelná čerpadla využívající NPT energii ze země jsou velmi spolehlivá a mají vysokou životnost. Topný faktor kolísá minimálně. U systémů vzduch/voda je venkovní teplota a topný faktor velmi proměnlivý, což snižuje životnost kompresoru. Chladivo cirkuluje v uzavřeném systému, proto nedochází k zanášení, popř. negativnímu chemickému poškození nějakých součástí TČ, což je běžné u systému voda/voda. Největším nebezpečím pro systém země/voda je mechanické porušení.

3.4.3 Možnosti instalace

Zásadní nevýhodou u půdních kolektorů je náročnost na jinak omezeně využitelnou plochu. Na využitém pozemku se nesmí nic stavět, protože by hrozilo promrznutí základů. Nedoporučují se ani vzrostlé stromy, které by mohly svými kořenovými systémy poškodit kolektor. Promrzání také negativně ovlivňuje pěstování zeleniny, popř. květin a keřů. U hlubinného vrtu si musíme především zjistit, jestli nejsme v oblasti, ve které je vrtání vrtů legislativně omezeno (lázeňské oblasti, zdroje pitné vody, atd.) Vrtý nejsou nijak plošně náročné, pro rodinné domy se nevrtají většinou více jak dva vrtý. Musíme také zjistit, jestli se na dané místo dostane vrtací souprava. Vzduchová tepelná čerpadla nejsou nijak náročná na okolí, jedinou podmínkou jsou dobře větraná místa. U systémů voda/voda je základní nevýhodou nezbytná blízkost nějakého vodního zdroje. Nedochozí většinou k budování nějakých velkých umělých reservoárů, popř. přivádění vody z jiných zdrojů (řeka, rybník), protože by to bylo finančně velmi náročné.

3.4.4 Nutná příprava před instalací

U půdních systémů se doporučuje udělat důkladný geologický rozbor, protože složení a struktura horniny může zásadním způsobem ovlivnit výkopové práce i následný topný faktor. U půdních kolektorů je skalnaté podloží nežádoucí z pohledu výkopových prací, naopak vhodné z hlediska dobrého přenosu tepla. U vodních systémů musíme dělat chemický rozbor. Navíc jsou zde časté problémy se získáním povolení k čerpání podzemní i povrchové vody. Jasným favoritem z tohoto pohledu je tedy vzduchové čerpadlo, kde nemusíme dělat žádné rozbory (vlastnosti vzduchu se mění denně), ani žádat o povolení.

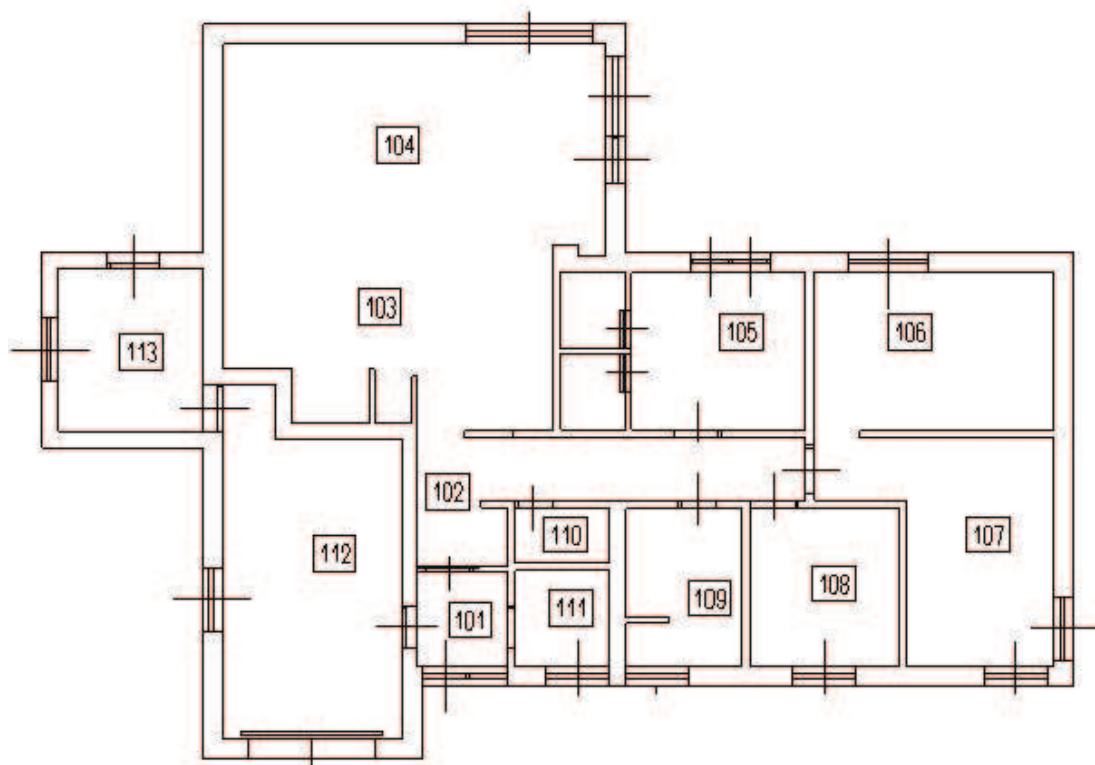
3.4.5 Narušení okolí

Tepelná čerpadla země/voda i vzduch/voda mohou při nedostatečném nadimenzování způsobit zamrznutí vrtů. U vzduchového čerpadla k takovým problémům nedochází, je-li celý systém dobře odvětrávaný. Velkou nevýhodou vzduchového systému oproti vodnímu a půdnímu je hlučnost.

4 Návrh tepelného čerpadla země/voda pro rodinný dům

4.1 Popis objektu

Pro představení návrhu tepelného čerpadla včetně ekonomické bilance byl vybrán rodinný dům v lokalitě Brno-město. Jedná se o jednopodlažní dům o celkové zastavěné ploše 186,7 m². Půdorys stavby s označenými místnostmi je naznačen na obr. 11. Vytápění bude zajištěno pomocí podlahového vytápění a deskových otopných těles. Tato otopná soustava je oproti běžným vytápěcím systémům finančně nákladnější. Velkou výhodou ovšem je vysoká míra komfortu a budoucí ekonomická výhodnost. Objekt bude trvale obývat pět osob.



Obrázek 11: Půdorys rodinného domu s označením místností.

Tabulka 3: Základní popis půdorysu.

Č.M.	NÁZEV	m ²	Č.M.	NÁZEV	m ²
101	zádveří	5,00	108	pokoj	8,40
102	chodba	10,90	109	koupelna	6,60
103	kuchyň, jídelna + pracovní kout	18,35	110	WC	1,80
104	pobytová místnost	29,30	111	technická místnost	3,25
105	ložnice + šatny	13,45	112	garáž	20,20
106	pokoj	13,65	113	hobby	8,55
107	pokoj	14,10			

4.2 Výpočet tepelné ztráty objektu

Při výpočtu tepelné ztráty byl použit program Protech – Tepelný výkon - verze 1.4.8 s návazností na normu ČSN EN 12 831. Výpočtová venkovní teplota ($t_e = -15^\circ\text{C}$) i výpočtová vnitřní teplota t_i byla stanovena dle normy ČSN EN 12 831. „Program funguje na principu výpočtu tepelné ztráty jednotlivých místností, nikoliv na bázi obálkové metody.“ V tab. 4 jsou uvedeny základní hodnoty pro výpočet tepelné ztráty místnosti 104.

Z tab. 4 můžeme vyčíst celkovou tepelnou ztrátu objektu Q_{cm} .

Tabulka 4: Výpočty tepelné ztráty objektu.

č.m	účel	t_i	n_p	V_{np}	V_{n50}	O	A_p	H_{Tm}	H_{Vm}	Φ_{Tm}	Φ_{Vm}	Φ_{Hm}	Q_{cm}
		$^\circ\text{C}$		$\text{m}^3.\text{h}^{-1}$	$\text{m}^3.\text{h}^{-1}$	m^3	m^2	W/K	W/K	W	W	W	W
101	zádveři	18	0,5	3,9	2,4	7,9	3,1	10	1	321	44	365	365
102	chodba	20	0,5	10,1	6,1	20,2	7,9	3	3	111	120	231	231
103	kuchyň + jídelna	20	1,5	60,7	0	40,5	15,9	7	21	230	722	952	952
104	pracovní místnost	20	0,5	36,2	21,7	72,4	28,4	34	12	1175	431	1606	1606
105	ložnice	20	0,5	17,6	7	35,2	13,8	11	6	388	210	598	598
106	ložnice	20	0,5	17,2	6,9	34,5	13,5	12	6	431	205	636	636
107	ložnice	20	0,5	18	10,8	36	14,1	14	6	474	214	688	688
108	ložnice	20	0,5	10,7	4,3	21,4	8,4	6	4	223	127	350	350
109	koupelna	24	0,5	25,2	5	16,8	6,6	6	9	250	334	584	584
110	wc	20	1	4,5	0	4,5	1,8	1	2	47	54	101	101
111	technická místnost	10	0,5	4,1	2,5	8,3	3,2	-1	1	-15	35	20	20
112	garáž	5	0,5	25,7	15,4	51,4	20,2	19	9	388	175	563	563
	celkem					349,1	136,9	122	80	4023	2671	6694	6694

Legenda:

V_{np}	hygienická výměna vzduchu	A_p	plocha
V_{n50}	výměna vzduchu pláštěm budovy	H_{Tm}	součinitel tepelné ztráty prostupem
Φ_{Tm}	tepelná ztráta místností prostupem tepla	H_{Vm}	součinitel tepelné ztráty infiltrací
Φ_{Vm}	tepelná ztráta místností větráním	t_i	vnitřní teplota
Φ_{Hm}	celkový návrhový tepelný výkon místnosti	t_e	venkovní teplota
Q_{cm}	Celková tepelná ztráta místnosti	n_p	násobnost výměny vzduchu
O	objem		

4.3 Výběr vhodného tepelného čerpadla

V návrhu je předpokládán monovalentní provoz, protože tepelné ztráty objektu jsou velmi malé a lze je pokrýt TČ o malém výkonu. Díky minimálnímu poklesu teploty vrtu při extrémních venkovních podmínkách nedojde ke snížení topného faktoru, a tedy účinnosti. Základními parametry pro výběr TČ byl minimální výkon 6,7 kW při teplotním spádu 10/35 $^\circ\text{C}$. Z nabídky výrobce Mastertherm jsem vybral TČ AquaMaster 22Z (obr. 12). Maximální topný výkon je 7,5 kW při podmínkách B10W35, což zaručuje teplotní komfort i při nižších teplotách než -15°C . Tepelné čerpadlo je vybaveno tzv. desuperheaterem, což je zařízení, které může ohřívat TV až na teplotu 70 $^\circ\text{C}$. Využívá k tomu přebytečné teplo, které zrovna není potřebné pro vytápění. Součástí TČ je akumulární nádoba a kombinovaný bojler, který se automaticky zapne, nezvládá-li TČ ohřívat TV. Navíc je TČ připojeno přes počítač k internetu a lze jej ovládat z jakéhokoli místa.



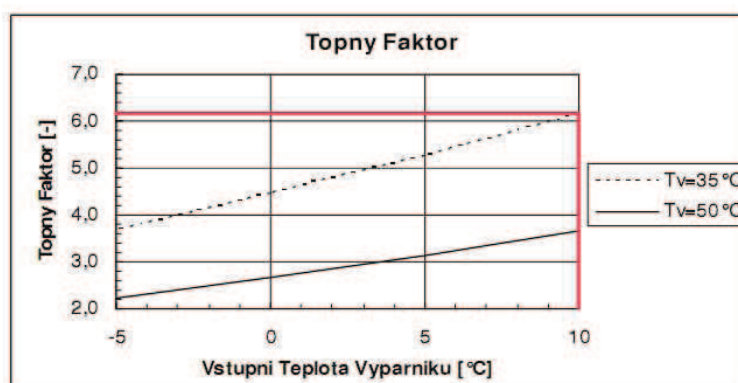
Obrázek 12: Orientační obrázek AquaMaster [6].

Základní technické údaje zvoleného TČ jsou uvedeny v tab. 5.

Tabulka 5: Technické údaje AquaMaster 22Z [6]

Topný výkon	6,70 kW
Chladicí výkon	5,50 KW
Příkon kompresoru	1,10 KW
Topný faktor	6,10
Provozní proud	5,5 A

Na obr. 13 je uveden odečet topného faktoru při vstupní teplotě výparníku 10 °C, což je předpokládaná teplota chladiva vycházející z vrtu.



Obrázek 13: Závislost topného faktoru na teplotě chladiva.

4.4 Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody

Podmínky pro výpočet spotřebovaného tepla topením a přípravou TV:

- Lokalita: Brno.
- Nadmořská výška: 227 m.n.m [12] .
- Venkovní výpočtová teplota $t_e = -15^\circ\text{C}$ [12].

- Střední denní venkovní teplota pro začátek a konec otopného období: $t_{em} = 13\text{ }^{\circ}\text{C}$ [12].
- Průměrná vnitřní výpočtová teplota objektu (bez garáže) získaná váženým průměrem teplot jednotlivých místností: $t_{i,\phi} = 19,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Střední venkovní teplota za otopné období: $t_{es} = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ [12].
- Průměrná teplota vstupní studené vody: $t_{VS} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Počet dnů otopného období: $d = 232$ dní [12].
- Denní spotřeba TV jedné osoby: $V_{os} = 0,082\text{ m}^3$ [12].
- Teplota TV: $t_{TV} = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Koeficient energetických ztrát systému pro rozvody v nových stavbách: $0,5$ [12].
- Energetická ztráta objektu: $Q_{cm} = 6,694\text{ kW}$.
- Nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem: $e_i = 0,66$.
- Snížení teploty v místnosti během dne respektive noci: $e_t = 0,9$ [12].
- Zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu: $e_d = 1$ [12].

Pomocí softwaru na webových stránkách [8] jsem získal následující veličiny:

- Roční spotřeba tepla na ohřev TV: $Q_{TV,r} = 10,9\text{ MWh}$.
- Roční spotřeba tepla na vytápění: $Q_{VYT,r} = 11,1\text{ MWh}$.
- Celková roční spotřeba tepla: $Q_r = 22\text{ MWh}$.

4.5 Ekonomická bilance

V této části jsou porovnány roční náklady na energie při použití kondenzačního plynového kotle a tepelného čerpadla AquaMaster 22Z. Je zde také uvedena počáteční investice do TČ, popř. do plynového kotle a následná návratnost TČ v porovnání s používáním plynového kotle.

4.5.1 Roční náklady na energii při použití TČ

Při vytápění pomocí TČ je účtován odběr elektřiny dle sazby D 56d, která platí pouze pro odběratele s TČ. Podmínkou je operativní řízení doby platnosti nízkého tarifu po dobu 22 hodin. Díky tomu, že realizovaný objekt nebude využíván pro komerční účely, bude nainstalován pouze jeden elektroměr. Všechny domácí spotřebiče tedy budou v provozu po 22 hodin na nízkém tarifu, což znamená další úspory.

V tab. 6 jsou uvedené všechny elektrické spotřebiče s jejich spotřebou.

Tabulka 6: Přehled domácích spotřebičů včetně jejich spotřeby[12].

elektrický spotřebič	roční spotřeba [kWh/rok]
myčka	324
běžná pračka	434
sklokeramický sporák	630
moderní chladnička (A+)	297
moderní mraznička (A+, A++)	329
osvětlení-žárovky + zářivky	463
kancelářský počítač	229
notebook	69
TV a multimédia	224
ostatní - běžná spotřeba	432
standby spotřeba (odhad 8%)	274
oběhové čerpadlo	140
součet	3845

Množství el. energie potřebné pro vytápění a přípravu TV získáme jako poměr potřebného tepla a topného faktoru tepelného čerpadla.

- $Q_{el.E} = \frac{Q_r}{\varepsilon_t} = \frac{22}{6,1} \text{ MW} \cdot \text{h} = 3,61 \text{ MW} \cdot \text{h}$ rov. 4.1

Celková roční spotřeba elektrické energie

- $Q_{r,celk} = Q_{el.E} + Q_{el.spotř.} = (3,61 + 3,85) \text{ MWh} = 7,46 \text{ MW} \cdot \text{h}$ rov. 4.2

Rozdělení roční spotřeby elektrické energie domácích spotřebičů do nízkého tarifu (NT) a vysokého tarifu (VT)

Zapínání a vypínání tepelného čerpadla je dálkově řízeno pomocí signálů HDO. Je vypínáno dvakrát denně ve špičkách spotřeby el. energie. Proto je jeho celková spotřeba zahrnuta pouze do NT. Spotřeba ostatních domácích el. spotřebičů je rozdělena do NT a VT dle následující úvahy: vychází se z rovnosti poměru délky trvání VT ku dni a spotřebě el. energie ve VT ku celkové spotřebě domácích el. spotřebičů.

- roční spotřeba domácích el. spotřebičů ve VT:
 $Q_{VT} = \frac{t(VT)}{t(24h)} \cdot Q_{el.spotř.} = \frac{2}{24} \cdot 3,85 \text{ MW} \cdot \text{h} = 0,32 \text{ MW} \cdot \text{h}$ rov. 4.3

- roční spotřeba domácích el. spotřebičů v NT:
 $Q_{NT1} = Q_{el.spotř.} - Q_{VT} = (3,85 - 0,32) \text{ MW} \cdot \text{h} = 3,53 \text{ MW} \cdot \text{h}$ rov. 4.4

- Celková roční spotřeba v NT:
 $Q_{NT} = Q_{el.E} + Q_{NT1} = (3,61 + 3,53) \text{ MW} \cdot \text{h} = 7,14 \text{ MW} \cdot \text{h}$ rov. 4.5

Ceny el. energie a jističe

Pro zvolený objekt bude po konzultaci ve firmě Midos dostatečný jistič 3x20 A.

Tabulka 7: Ceny el. energií (ČEZ), sazba D 56d, [12].

složka platby	cena [Kč]	za jednotku	počet jednotek	roční náklady [Kč]
el.energie – NT	2342	MWh	7,14	16722
el.energie – VT	2904	MWh	0,32	929
jistič 3x20 A	309	měsíc	12	3708
celkem				21359

Ceny jsou uvedeny včetně DPH a zahrnují všechny složky dle cenového rozhodnutí a dle zákona o stabilizaci veřejných rozpočtů (daň z elektřiny)[12]:

- Za dodávku elektřiny (ČEZ - ceny produktové řady COMFORT).
- Za distribuci elektřiny.
- Za krytí vícenákladů spojených s podporou elektřiny z obnovitelných zdrojů, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných zdrojů (62,09 Kč/MWh vč. 19 % DPH).
- Za systémové služby (167,80 Kč/MWh vč. 19 % DPH).
- Za činnost zúčtování Operátora trhu s elektřinou, a. s. (5,65 Kč/MWh vč. 19 % DPH).
- Daň z elektřiny (33,68 Kč/MWh vč. 19 % DPH).

4.5.2 Roční náklady na energii při použití běžného plynového kotle

Výpočet se od bodu 4.5.1 liší tím, že pro vytápění a přípravu TV využíváme plyn. Při tomto způsobu vytápění a dané spotřebě el. energie se využívá jednotarifová sazba D 02d. Nevýhodou je vyšší cena za 1 MW·h a absence NT, naopak je použit menší jistič 3x13 A[9], za který je nižší roční platba. Jako vhodný kondenzační plynový kotel byl vybrán LEV 24 KKV 4,2 - 27,9 kW turbo.

Výpočet celkových ročních nákladů na el. energii a plyn je uveden v tab. 8.

Tabulka 8: Celkové roční náklad na plyn a el. energii vč. DPH.

složka platby	cena [Kč]	za jednotku	počet jednotek	roční náklady [Kč]
el.energie	4482	MWh	3,85	17255
plyn	1253	MWh	22	27566
jistič 3x13 A	102	měsíc	12	1224
suma				46045

Cena el. energie v sazbě D 02d zahrnuje stejné položky jako sazba D 56d (v bodě 4.5.1 pod tab.7).

4.5.3 Investiční náklady při pořízení tepelného čerpadla

Celý projekt TČ byl z finančního hlediska konzultován s obchodním zástupcem ze společnosti Midos. V tab. 9 je souhrn všech nákladů spojených s přípravou projektu, nezbytnými součástmi pro správný chod TČ, instalace TČ a výkopovými pracemi.

Určení hloubky vrtu se odhadlo dle dřívějších zkušeností, že k zisku 1 kW tepla je zapotřebí přibližně 15 hloubkových metrů.

Tabulka 9: Cena sestavy TČ AquaMaster 22Z dle nabídky společnosti Midos, s.r.o.

Položka	Celková cena [Kč vč. DPH]
Sestava	
Tepelné čerpadlo Aqua Master 22Z B0W35	164101
Akumulační nádoba 200l R200 S/K ocel	9401
Bojler kombinovaný G 300/1 S/K včetně tělesa 4,5kW 400V	21539
Primární okruh	
1x vrt 90 m včetně vystrojení sondou PE100, 40 mm	113645
propojení do strojovny, ostatní mat. nemrznoucí směs	46886
tlaková zkouška, odvzdušnění	1428
Nadstandardní výbava TČ	
Ethernet připojení na PC (zisk 7 leté záruky)	7378
Sledovač fáze (ochrana kompresoru při obrácení fáze)	1547
Desuperheater (ohřev TUV až na 65 °C)	9877
Příslušenství	
expanzomat 35 l	1012
3x oběhové čerpadlo Grundfors UPS 25-40	10317
Projekční práce	
Prováděcí projekt strojovny TČ	11900
Výpočet tepelných ztrát objektu	3094
Posouzení otopné soustavy	1666
Montáž	
Montáž strojovny (včetně ostatního materiálu)	28917
spuštění, zaškolení, topná a tlaková zkouška	8092
Montáž elektroinstalace (včetně ostatního materiálu)	11781
Doprava	2380
Celkem	454961

4.5.4 Zisk státní dotace v programu *Zelená úsporám*

Rodinný dům i tepelné čerpadlo splňují všechny podmínky pro zisk dotace v programu Zelená úsporám:

- měrná roční spotřeba tepla na vytápění je menší než 50 kWh/m²
- topný faktor je při teplotní charakteristice B0/W35 větší než 4,1
- otopná soustava je vybavena regulačními prvky zajišťujícími její pružný provoz dle vnějších klimatických podmínek a požadovaných podmínek vnitřního prostředí

Dle podmínek dotace může žadatel obdržet 30 % z celkových nákladů, maximálně však 75 000 Kč.[7] V tomto případě je výše dotace 75 000 Kč.

4.5.5 Návratnost investice do tepelného čerpadla AquaMaster 22Z

V tab.10 jsou uvedené jednotlivé položky investice kondenzačního plynového kotle včetně instalace

Tabulka 10: Celková investice do kondenzačního PK LEV 24 KKV 4,2 - 27,9 kW turbo včetně instalace a přípojky dle podkladů společnosti Protherm, s.r.o.

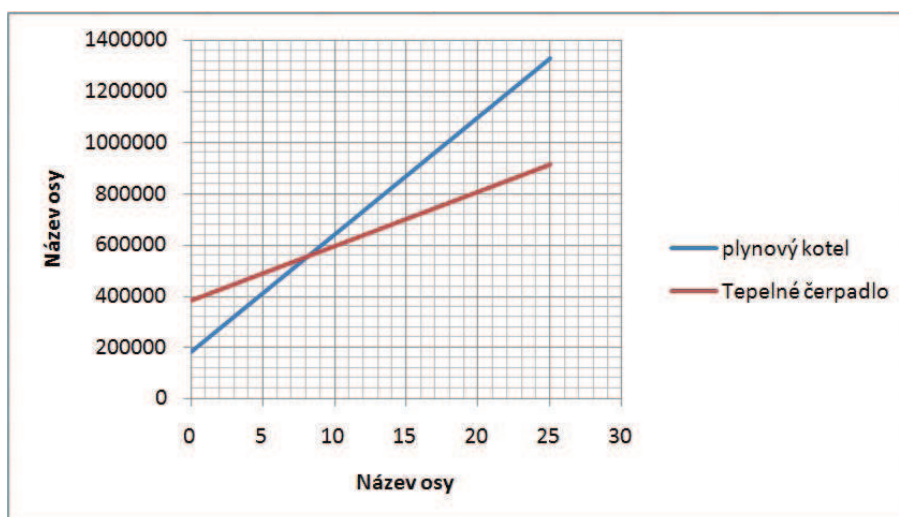
Položka	cena [Kč. vč. DPH]
PK kondenzační závěsný LEV 24 KKV 4,2 27,9 kW turbo	45815
Zásobníkový ohřívač TV Protherm B 200 S	20658
Odkouření	16617
Materiál na propojení	7140
Ekvitermní regulace RVA63.2842, vč. Čidel	21110
Projekt + doprava + montáž + zprovoznění	20230
Plynovodní přípojka (projekt, realizace, uvedení do provozu)	47600
Celkem	179170

V tab. 11 jsou uvedené všechny parametry, které byly použity pro výpočet návratnosti investice do TČ oproti používání běžného plynového kotle. Ve výpočtech se počítá s konstantní cenou energií v následujících dvaceti pěti letech.

Tabulka 11: parametry pro výpočet návratnosti

Položka	Celková cena [Kč s DPH]
Roční platba za energie s TČ	21359
Roční platba za energie s plynovým kotlem	46045
Jednorázová investice do TČ	454961
Jednorázová investice do PK	179170
Podpora v programu Zelená úsporám	75000

Na základě výše uvedených částek byly vypočítány roční úspory, náklady za 25 let provozu, celková úspora při pořízení TČ AquaMaster 22Z a návratnost jeho investice. Vše je graficky znázorněno na obr. 14, nejdůležitější fakta jsou uvedena v tab. 12.



Obrázek 14: Návratnost investice do TČ AquaMaster 22Z

Tabulka 12: Finanční bilance návratnosti investice do TČ AquaMaster 22Z

Roční úspora s TČ AquaMaster 22Z B0W35 oproti plynovému kotli	24 686 Kč
Náklady při vytápění a ohřevu TV pomocí TČ AquaMaster 22Z B0W35 za 25 let	913 936 Kč
Náklady při vytápění a ohřevu TV pomocí plynového kotle za 25 let	1 330 295 Kč
Úspora po 25 letech při pořízení TČ AquaMaster 22Z B0W35	416 359 Kč
Návratnost počáteční investice do TČ AquaMaster 22Z B0W35	8,5 let

5 Závěr

Tepelná čerpadla v současnosti patří mezi velmi oblíbená zařízení, která nám zajišťují získání velkého množství tepla ze země využívaného na vytápění a přípravu TV. Základními součástmi je výparník, kompresor, kondenzátor a expanzní ventil. Ohřáté chladivo je do výparníku většinou přiváděno pomocí PE potrubí z vrtů, popř. půdních nebo vodních kolektorů. Pouze u TČ vzduch/voda a vzduch/vzduch je chladivo ohříváno přímo ve výparníku. Rozlišují se základní tři typy NPT energie: z vody, ze vzduchu a ze země. Nejčastěji se využívají poslední dvě zmíněné. Nejvýkonější TČ získávají NPT energii z podzemní vody, která má vysokou konstantní teplotu. Tato TČ jsou schopna do otopné soustavy dodat až sedminásobek energie, která je dodána pro pohon TČ. Tepelná čerpadla jsou téměř vždy poháněna elektrickou energií, výjimečně plynem, kdy se jedná o absorpční TČ. Hlavním faktorem charakterizujícím provoz TČ je topný faktor, což je poměr množství získaného tepla pro vytápění a dodané (placené) energie. Jeho hodnota je směrodatná pouze při známých okolních podmínkách. Nejčastěji se uvádí vstupní teplota chladiva ve výparníku a teplota otopné vody, protože na topný faktor má největší vliv teplotní spád. Proto je ideální, aby NPT zdroj energie měl co nejvyšší teplotu a teplota otopné vody byla co nejnižší. U nízkoteplotních vytápěcích systémů lze jít až na teplotu otopné vody 35 °C. Některá TČ také umožňují reverzní chod v létě, kdy fungují jako klimatizace. Odpadní teplo lze využít pro ohřev TV, bazénu, popř. pro ohřívání okolí kolektoru / vrtu, není-li dostatečně nadimenzován a hrozí-li ke konci topné sezóny promrzání.

Tepelné čerpadlo země/voda získává NPT teplo z vrtů, popř. plošných kolektorů. Důležitými faktory pro správné nadimenzování jsou vlastnosti půdy. Závisí především na vlhkosti a geologickém složení. Dané vlastnosti mohou ovlivnit hloubku vrtu/plochu plošného kolektoru až o 50 %. Vrt ani plošný kolektor nelze umístit kamkoliv, vhodné podmínky se vyskytují ovšem mnohem častěji než pro čerpadla se zdrojem NPT z vody. Nejméně náročná na umístění jsou vzduchová TČ. Investice z hlediska finančních nákladů je nejmenší u tepelných čerpadel využívající NPT energii ze vzduchu.

Z pohledu ekologie jsou TČ hodnocena velmi kladně, protože velkou mírou snižují spotřebu neobnovitelné energie, a naopak využívají energii obnovitelnou. Díky tomu lze čerpat státní dotace na jejich pořízení. V současné době se jedná o program „Zelená úsporám,” ve kterém žadatel po splnění všech závazných podmínek může získat až 30 % celkové částky, maximálně však 75 000 Kč.

Cílem bakalářské práce také bylo navrhnout TČ země/voda pro vybraný rodinný dům a udělat cenovou bilanci. Po vypočítání tepelné ztráty objektu pomocí programu Protech – Tepelný výkon - verze 1.4.8 bylo vybráno TČ, které dodá potřebný výkon a navíc zvládne ohřát dostatek TV pro pětičlennou rodinu. Zvoleným TČ byl AquaMaster 22Z od firmy Master Therm. Jako zdroj NPT tepla byl navržen devadesáti metrový vrt. Provoz daného TČ byl srovnáván s použitím plynového kotle PK LEV 24 KKV 4,2 - 27,9 kW turbo, rovněž použitého pro vytápění a přípravu TV. Výhodou užití TČ je dvoutarifní sazba za elektřinu D 56d, díky které mohou i všechny ostatní domácí spotřebiče po dobu 22 hodin denně využívat elektřinu v NT. Toto platí pouze pro soukromé osoby s jedním elektroměrem. Pomocí výpočtů bylo zjištěno, že roční náklady na energie je přibližně o 27 400 Kč nižší při užití TČ. Investice do TČ ve výši 450 000 Kč se při využití státní podpory a konstantních cen energií vrátí za 8,5 let provozu. Za dobu životnosti TČ (25 let) by se mělo ušetřit na energiích přibližně 420 000 Kč.

Výpočet návratnosti je pouze teoretický, protože je v současné době velmi obtížné odhadnout vývoj cen energií v následujících desetiletích. Navíc se objevují náznaky, že by

NT mohl být využíván pouze pro TČ a nikoliv ostatní domácí spotřebiče, což by výrazně prodloužilo dobu návratnosti investice do TČ.

6 Seznam použitých zdrojů

Literatura:

- [1] *Energy Efficiency and Renewable Energy* [online]. U.S. Department of Energy, 2002 , 06/01/2009 [cit. 2009-06-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.eere.energy.gov/>>.
- [2] ČSN EN 12 831–Tepelné soustavy v budovách–Výpočet tepelného výkonu
- [3] Domestic ground source heat pumps : Design and instalation of closed-loop systems. *Energy efficiency best practice in housing* [online]. 2004 [cit. 2009-06-02], s. 1-18.
- [4] DVOŘÁK, Zdeněk. Základy chladicí techniky. 1. vyd. Praha : České vysoké učení technické v Praze, Ediční středisko ČVUT, Praha 1, Husova 5, 1982. 218 s.
- [5] Heat Pump Centre [online]. c2007 , Last updated: 2008-06-30 [cit. 2009-04-10]. Text v angličtině. Dostupný z WWW: <<http://www.heatpumpcentre.org/>>.
- [6] Master therm [online]. Master therm, s.r.o., 2006 [cit. 2009-06-01]. Dostupný z WWW: <www.master-therm.cz>.
- [7] *Program "Zelená úsporám" : Příručka pro žadatele o podporu.* [s.l.] : [s.n.], 2009. 40 s.
- [8] REINBERK, Zdeněk. Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody [online]. 2003 , 19.9.2005 [cit. 2009-05-30]. Dostupný z WWW: <<http://vytapani.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=47&h=38&obor=5>>. ISSN 1801-4399.
- [9] *Skupina ČEZ* [online]. ČEZ, a.s., c2009 [cit. 2009-06-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.cez.cz/>>.
- [10] *Stiebel Eltron s.r.o.* [online]. 2001 [cit. 2009-06-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.stiebel-eltron.cz/>>.
- [11] SRDEČNÝ, Karel, TRUXA, Jan. Tepelná čerpadla. Hana Drinocká. 2. aktualiz. vyd. Brno : ERA, 2007. 65 s. ISBN 978-80-7366-089-5.
- [12] *Tzb-info* [online]. Topinfo, s.r.o., 2001 [cit. 2009-06-01]. Dostupný z WWW: <www.tzb-info.cz>. ISSN 1801-4399.

7 Seznam použitých značek a veličin

$\varepsilon_T[-]$	topný faktor
$\varepsilon_c[-]$	chladicí faktor
$\Delta t_s[^\circ\text{C}]$	rozdíl teploty nízkoteplotního zdroje před a po odevzdáním své teploty
$\Delta t_w[^\circ\text{C}]$	rozdíl teploty otopné vody před a po přijmutí tepla v kondenzátoru
$\delta(v)[^\circ\text{C}]$	rozdíl teplot dvou látek
$\delta(m)[^\circ\text{C}]$	rozdíl teplot dvou látek
$\phi_{HLm}[\text{W}]$	celkový návrhový tepelný výkon místnosti
$\phi_{Tm}[\text{W}]$	tepelná ztráta místnosti prostupem tepla
$\phi_{Vm}[\text{W}]$	tepelná ztráta místnosti větráním
$a_{ie}[\text{W}]$	měrná izoentropická kompresní práce kompresoru
$A_p[\text{m}^2]$	plocha
$d[-]$	počet dnů otopného období
$E[\text{W}]$	energie paliva
$E_E[\text{W}]$	elektrická energie
$e_i[-]$	nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem
$e_t[-]$	snížení teploty v místnosti během dne respektive noci
$e_d[-]$	zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu
$h_1[\text{J}]$	entalpie chladiva ve skupenství syté páry
$h_2[\text{J}]$	entalpie chladiva před kondenzací
$h_4[\text{J}]$	entalpie chladiva po kondenzací
$H_{Tm}[\text{W/K}]$	součinitel tepelné ztráty prostupem
$H_{Vm}[\text{W/K}]$	součinitel tepelné ztráty infiltrací
$m[\text{kg}]$	hmotnost
$n_p[-]$	násobnost výměny vzduchu
$O[\text{m}^3]$	objem
$P[\text{W}]$	energie okolního prostředí
$P_{ie}[\text{W}]$	izoentropický příkon kompresoru
$p_k[\text{Pa}]$	kondenzační tlak
$Q_0[\text{J}]$	energie od nízkoteplotního zdroje

$Q_a[\text{J}]$	směšovací teplo
$Q_{cm}[\text{kW}\cdot\text{h}]$	celková tepelná ztráta objektu
$Q_d[\text{J}]$	odvedené teplo z dochlazovače
$Q_E[\text{kW}\cdot\text{h}]$	energie přivedená ze sítě/paliva
$Q_{el.E}[\text{kW}\cdot\text{h}]$	roční spotřeba el.energie na vytápění a přípravu TV
$Q_{el.spotř}[\text{kW}\cdot\text{h}]$	roční spotřeba domácích el. spotřebičů
$Q_{r,celk}[\text{kW}\cdot\text{h}]$	celková roční spotřeba el. energie objektu
$Q_k[\text{kW}\cdot\text{h}]$	odevzdaná energie otopné vodě při kondenzaci chladiva
$Q_r[\text{MW}\cdot\text{h}]$	celková roční spotřeba tepla
$Q_{NT}[\text{MW}\cdot\text{h}]$	roční spotřeba el. energie domácích el. spotřebičů v NT
$Q_{NT}[\text{MW}\cdot\text{h}]$	celková roční spotřeba el. energie v NT
$Q_T, Q_t[\text{kW}\cdot\text{h}]$	teplo dodané do vytápěcího systému
$Q_{TV,r}[\text{MW}\cdot\text{h}]$	roční spotřeba tepla na ohřev TV
$Q_v[\text{kW}\cdot\text{h}]$	předané teplo mezi chudým a bohatým roztokem ve výměnníku tepla
$Q_{VT}[\text{MW}\cdot\text{h}]$	roční spotřeba el. energie domácích el. spotřebičů ve VT
$Q_{VYT,r}[\text{MW}\cdot\text{h}]$	roční spotřeba tepla na vytápění
$Q_Z[\text{kW}\cdot\text{h}]$	teplo odebrané okolnímu prostředí
$p_o[\text{Pa}]$	výparný tlak chladiva
$T_0, t_0[^\circ\text{C}]$	teplota, při které se vypařuje chladivo
$t_e[^\circ\text{C}]$	výpočtová venkovní teplota
$t_{em}[^\circ\text{C}]$	střední denní venkovní teplota pro začátek a konec otopného období
$t_{es}[^\circ\text{C}]$	střední venkovní teplota za otopné období
$t_i[^\circ\text{C}]$	výpočtová vnitřní teplota
$t_{i\phi}[^\circ\text{C}]$	průměrná vnitřní výpočtová teplota objektu (bez garáže) získaná váženým průměrem teplot jednotlivých místností
$T_k, t_k[^\circ\text{C}]$	teplota, při které chladivo kondenzuje
$t_{s,1}[^\circ\text{C}]$	teplota nízkoteplotního zdroje před odevzdáním své energie
$t_{s,2}[^\circ\text{C}]$	teplota nízkoteplotního zdroje po odevzdání své energie
$T_{T,1}[^\circ\text{C}]$	vstupní teplota ohřívané otopné vody
$T_{T,2}[^\circ\text{C}]$	výstupní teplota ohřívané otopné vody

$t_{TV}[^{\circ}\text{C}]$	teplota TV
$T_{Z,1}[^{\circ}\text{C}]$	vstupní teplota ochlazovaného chladiva
$t_{VS}[^{\circ}\text{C}]$	průměrná teplota vstupní studené vody
$T_{Z,2}[^{\circ}\text{C}]$	výstupní teplota ochlazovaného chladiva
$t_{w,1}[^{\circ}\text{C}]$	teplota otopné vody před ohřátím
$t_{w,2}[^{\circ}\text{C}]$	teplota otopné vody po ohřátí
$t_v[^{\circ}\text{C}]$	teplota varu
$V_{np}[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$	hygienická výměna vzduchu
$V_{n50}[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$	výměna vzduchu pláštěm budovy
$V_{os}[\text{m}^3]$	denní spotřeba TV jedné osoby
$Z[\text{J}]$	ztráty do okolí